

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-064099

(43)Date of publication of application : 13.03.2001

(51)Int.Cl.

C30B 29/52

C30B 25/06

H01L 21/203

H01L 31/04

(21)Application number : 11-239343

(71)Applicant : MATSUSHITA ELECTRONICS
INDUSTRY CORP

(22)Date of filing : 26.08.1999

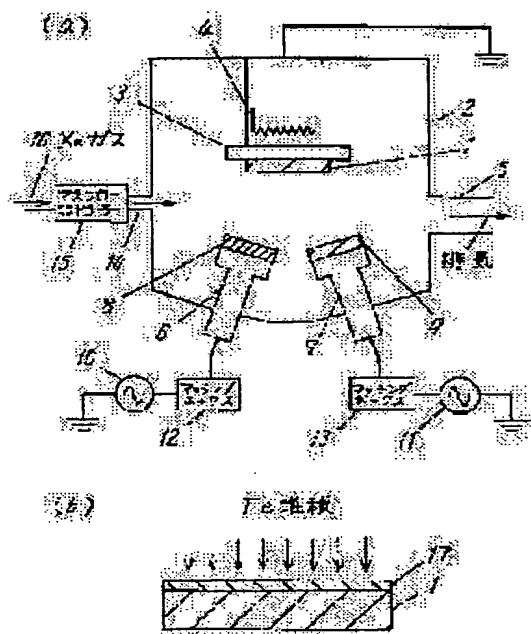
(72)Inventor : TAMURA AKIYOSHI

(54) THIN FILM FORMATION

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a film forming method for forming a high quality β -FeSi₂ epitaxial layer on an Si-substrate.

SOLUTION: A β -FeSi₂ layer 17 is formed by arranging an n-type Si-substrate 1 of the (100) plane on a substrate holder 3 provided in a vacuum chamber 2 of a magnetron sputtering device and then depositing Fe on the Si-substrate 1 by sputtering using gaseous Xe as the sputtering gas while heating the substrate so as to keep its temp. at 550 to 650° C. Gaseous Xe has large mass in comparison with gaseous Ar being generally used in sputtering. Therefore, when Fe is deposited by sputtering, the dissociation of the Si-Si bond at the surface of the Si-substrate proceeds efficiently, and the reaction of Si and deposited Fe is accelerated by exposing the surface of the Si-substrate to the plasma gas of Xe, thereby the high quality β -FeSi₂ epitaxial layer can be formed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's

Best Available Copy

decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

5/11

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2001-64099

(P2001-64099A)

(43) 公開日 平成13年3月13日 (2001.3.13)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード ⁸ (参考)
C 3 0 B 29/52		C 3 0 B 29/52	4 G 0 7 7
25/06		25/06	5 F 0 5 1
H 0 1 L 21/203		H 0 1 L 21/203	S 5 F 1 0 3
31/04		31/04	E

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平11-239343

(22) 出願日 平成11年8月26日 (1999.8.26)

FP03-0399
-00000-ID
04.3.9
SEARCH REPORT

(71) 出願人 000005843

松下電子工業株式会社

大阪府高槻市幸町1番1号

(72) 発明者 田村 彰良

大阪府高槻市幸町1番1号 松下電子工業株式会社内

(74) 代理人 100097445

弁理士 岩橋 文雄 (外2名)

Fターム(参考) 4G077 AA03 BA09 BE05 DA11 DA16

ED06 ED08

5F051 AA07 AA16 CB15 CB18 CB19

CB29 GA04

5F103 AA01 AA08 BB22 DD28 DD30

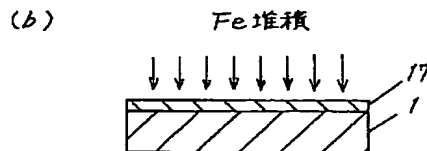
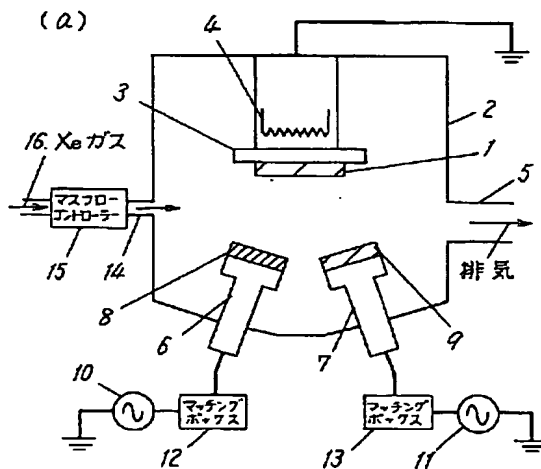
JJ01 JJ03 KK10 NN01 PP04

(54) 【発明の名称】 薄膜の形成方法

(57) 【要約】

【課題】 Si基板上に高品質な β -FeSi₂エピタキシャル層を形成する成膜方法を提供する。

【解決手段】 (100)面のn型のSi基板1をマグネトロンスパッタ装置の真空チャンバー2内に配置された基板ホルダー3に設置し、基板温度550~650℃で加熱しながら、スパッタガスとしてXeガスを用いてFeをスパッタ法でSi基板1上に堆積し、 β -FeSi₂層17を形成する。Xeは、通常スパッタ法で用いられるArガスに比して質量が大きく、スパッタ法によるFe堆積時に、Si基板がこれらのプラズマガスに暴露されることにより、Si基板表面のSi-Si結合の解離が効率的に進み、堆積されるFeとSiとの反応が促進され、高品質の β -FeSi₂エピタキシャル層が形成される。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 加熱したシリコン基板上に、クリプトンガスまたはキセノンガスを使用したスパッタ法を用いて鉄を堆積して、前記シリコン基板のシリコンとの反応により前記シリコン基板上にベータ鉄シリサイド層を形成することを特徴とする薄膜の形成方法。

【請求項2】 加熱したシリコン基板上に、クリプトンガスまたはキセノンガスを使用したスパッタ法を用いて、鉄とシリコンとを同時に、または交互に堆積して、前記シリコン基板上にベータ鉄シリサイド層を形成することを特徴とする薄膜の形成方法。

【請求項3】 加熱したシリコン基板上に、鉄を負イオンの状態で堆積し、前記シリコン基板のシリコンとの反応により、前記シリコン基板上にベータ鉄シリサイド層を形成することを特徴とする薄膜の形成方法。

【請求項4】 加熱したシリコン基板上に、鉄を堆積して前記シリコン基板のシリコンとの反応により、前記シリコン基板上にベータ鉄シリサイド層を形成する工程において、前記シリコン基板上に水素または希ガスのラジカルイオンを、鉄の堆積と同時にあるいは交互に照射する工程を含むことを特徴とする薄膜の形成方法。

【請求項5】 加熱したシリコン基板上に、鉄とシリコンを同時に堆積して、前記シリコン基板上にベータ鉄シリサイド層を形成する工程において、水素または希ガスのラジカルイオンを、鉄およびシリコンの堆積と同時にあるいは交互に照射することを特徴とする薄膜の形成方法。

【請求項6】 希ガスが、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノンのいずれかの成分を含むことを特徴とする請求項4または5に記載の薄膜の形成方法。

【請求項7】 鉄を負イオンの状態で堆積することを特徴とする請求項4または5に記載の薄膜の形成方法。

【請求項8】 シリコン基板を400～700℃の範囲で加熱することを特徴とする請求項1ないし5のいずれかに記載の薄膜の形成方法。

【請求項9】 シリコン基板表面に鉄またはシリコンをイオン注入した後、前記シリコン基板を加熱しながら鉄を堆積して、前記シリコン基板のシリコンとの反応により、ベータ鉄シリサイド層を形成することを特徴とする薄膜の形成方法。

【請求項10】 シリコン基板表面に希ガスをイオン注入した後、前記シリコン基板を加熱しながら鉄を堆積して前記シリコン基板のシリコンとの反応により、ベータ鉄シリサイド層を形成することを特徴とする薄膜の形成方法。

【請求項11】 希ガスが、ネオン、アルゴン、クリプトン、キセノンのいずれかの成分を含むことを特徴とする請求項10に記載の薄膜の形成方法。

【請求項12】 シリコン基板表面にn型またはp型となるドーピング不純物をイオン注入した後、前記シリコ

ン基板を加熱しながら鉄を堆積して前記シリコン基板のシリコンとの反応により、n型またはp型のベータ鉄シリサイド層を形成することを特徴とする薄膜の形成方法。

【請求項13】 n型となるドーピング不純物として、コバルト、ニッケル、白金、パラジウムのいずれかを、p型となるドーピング不純物としてマンガン、クロム、モリブデンのいずれかをイオン注入することを特徴とする請求項12に記載の薄膜の形成方法。

10 【請求項14】 イオン注入のドーズ量が、 $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ から $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ の範囲であることを特徴とする請求項9、10または12のいずれかに記載の薄膜の形成方法。

【請求項15】 イオン注入の深さ方向の範囲がシリコン基板表面から堆積する鉄の膜厚の3.2倍以内の範囲であることを特徴とする請求項9、10または12に記載の薄膜の形成方法。

20 【請求項16】 鉄を負イオンの状態で堆積することを特徴とする請求項9、10または12に記載の薄膜の形成方法。

【請求項17】 クリプトンガスまたはキセノンガスを使用したスパッタ法を用いて鉄を堆積することを特徴とする請求項9、10または12に記載の薄膜の形成方法。

30 【請求項18】 第1のシリコン基板の表面に鉄を堆積して鉄堆積層を形成した後、前記第1のシリコン基板の表面側に第2のシリコン基板を重ね合わせて熱処理し、ベータ鉄シリサイド層を前記第1のシリコン基板と前記第2のシリコン基板の間に埋め込み形成することを特徴とする薄膜の形成方法。

【請求項19】 第1のシリコン基板と第2のシリコン基板の少なくとも一方のシリコン基板を親水処理して重ね合わせることを特徴とする請求項18に記載の薄膜の形成方法。

【請求項20】 重ね合わせた第1のシリコン基板と第2のシリコン基板を、水素ガス、窒素ガスまたはアルゴンガスを含む雰囲気中で熱処理することを特徴とする請求項18に記載の薄膜の形成方法。

40 【請求項21】 第1のシリコン基板と第2のシリコン基板の少なくとも一方の基板表面に、鉄を堆積する前に、予め鉄またはシリコンをイオン注入することを特徴とする請求項18に記載の薄膜の形成方法。

【請求項22】 第1のシリコン基板と第2のシリコン基板の少なくとも一方の基板表面に、鉄を堆積する前に、予めネオン、アルゴン、クリプトンまたはキセノンの希ガスをイオン注入することを特徴とする請求項18に記載の薄膜の形成方法。

50 【請求項23】 第1のシリコン基板と第2のシリコン基板の少なくとも一方の基板表面に、鉄を堆積する前に、予めn型またはp型となるドーピング不純物

をイオン注入することを特徴とする請求項18に記載の薄膜の形成方法。

【請求項24】 n型となるドーピング不純物として、コバルト、ニッケル、白金、バリウム、のいずれかを、p型となるドーピング不純物としてマンガン、クロム、モリブデンのいずれかをイオン注入することを特徴とする請求項23記載の薄膜の形成方法。

【請求項25】 イオン注入のドーズ量が、 $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ から $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ の範囲であることを特徴とする請求項21ないし24のいずれかに記載の薄膜の形成方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、シリコン（以下、Siと記す）基板上にベータ鉄シリサイド（以下、 $\beta\text{-FeSi}_2$ と記す）を形成する薄膜の形成方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】Siと金属との化合物であるシリサイドには非常に多くの種類があり、これまで主として電極材料として研究が行われてきた。最近、半導体の性質を持つシリサイドとして $\beta\text{-FeSi}_2$ が注目されている。 $\beta\text{-FeSi}_2$ は直接遷移型のバンドギャップ（ $\sim 0.85 \text{ eV}$ ）を持ち、Si基板上にエピタキシャル成長可能で、太陽電池または古くは熱電素子の材料としても研究され、近年はSiの発光デバイス実現の有力な材料として期待されている。

【0003】 $\beta\text{-FeSi}_2$ 層のSi基板上への形成方法としては、今までいろいろ報告されている。代表的な成膜方法として以下の3つがある。

【0004】1つ目は、室温の状態でSi基板上に鉄（以下、Feと記す）を堆積後、アニールすることによりFeとSiの固相反応により形成する方法（Solik

*d Phase Epitaxy法；SPE法）である。これは、例えばJ. Derrien et al., Appl. Surf. Sci., 73 (1993) 90に記載されている。

【0005】2つ目は、加熱したSi基板上にFeを堆積しながら、FeとSiの固相反応により形成する方法（Reactive Deposition Epitaxy法；RDE法）である。これは、例えばA. H. Reader et al., Appl. Surf. Sci., 73 (1993) 131に記載されている。

【0006】3つ目は、MBEチャンバー中で、加熱したSi基板上に、FeとSiを同時に堆積しながら形成する方法（Molecular Beam Epitaxy法；MBE法）である。これは、例えばJ. E. Mahan et al., Appl. Phys. Lett., 56 (1990) 2126に記載されている。

【0007】SPE法、RDE法でFeを堆積するには、通常、電子ビーム（EB）蒸着や、Arガスをを用いたスパッタ法が用いられている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】Si基板にFeを堆積するSPE法、RDE法においては、 $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層を形成するには、Fe原子1つに対してSi原子2つの割合で反応が生じることが必要であり、堆積したFe層の約3.2倍の厚さの $\beta\text{-FeSi}_2$ 層が形成される。

【0009】 $\beta\text{-FeSi}_2$ は斜方晶の結晶構造を有し、Si基板に対して表1に示すように、結晶面と結晶軸との関係で $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層が得られる。

【0010】

【表1】

基板	結晶面	結晶軸
Si(100)	$\beta\text{-FeSi}_2(100) // \text{Si}(100)$	$\beta\text{-FeSi}_2[010]$ 、又は $\beta\text{-FeSi}_2[001] // \text{Si}[110]$
Si(111)	$\beta\text{-FeSi}_2(101) // \text{Si}(111)$	$\beta\text{-FeSi}_2[010] // \text{Si}[011]$
Si(111)	$\beta\text{-FeSi}_2(110) // \text{Si}(111)$	$\beta\text{-FeSi}_2[001] // \text{Si}[011]$

【0011】しかし、SPE法ではこの反応を促進させるため、RDE法に比して高温の熱処理が必要であり、上記の結晶関係が初期反応で一意的に決定されず、また最初に堆積するFe層の膜厚が厚いと未反応のFeが残ったりして多結晶になりやすい。

【0012】一方、RDE法では最初から加熱したSi基板にFeを堆積するため、SPE法に比して上記の結晶関係が生じやすいが、Feの堆積速度（デポレート）が特に速くなると、反応するSi原子がFe:Si=1:2の関係より欠乏して $\beta\text{-FeSi}_2$ 層の形成が困難になったりして、成膜条件が限定される。

【0013】また、SPE法、RDE法共に、形成され

る $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層の厚さが50nmを越えて厚くなると、Si原子の拡散が遅くなりFe原子との反応が抑制され、多結晶になりやすい。

【0014】次に、MBE法では、SPE法と同様に、最初の結晶核形成が一意的に決定されにくい。そこで、最初はRDE法と同様にFeのみを1nm程度と極薄に蒸着堆積して薄い $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層を形成し、それをテンプレートとして、FeとSiをモル比1:2の割合で同時蒸着するテンプレート法が良く用いられる。しかし、この方法では工程が複雑になりすぎる欠点がある。

【0015】また、Si基板上に形成した $\beta\text{-FeSi}_2$

、のエピタキシャル層の上に更にSiエピタキシャル層を形成してダブルヘテロ構造を得ることは、 $\beta\text{-FeSi}_2$ が斜方晶の結晶構造を有していることや、Siの低温形成が必要であるため、たいへん難しい。

【0016】また、 $\beta\text{-FeSi}_2$ 層への不純物によるn型あるいはp型にするドーピング技術も、一般に不純物原子とFe原子との電子ビーム蒸着やスパッタ法による同時蒸着が用いられているが、制御性に難がある。

【0017】本発明は、このような課題を解決するためになされたもので、Si基板上に高品質な $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層、 $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層への高精度なドーピング技術及びSi/ $\beta\text{-FeSi}_2$ /Siのダブルヘテロ構造エピタキシャル層の形成を可能にする成膜方法を提供するものである。

【0018】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明の請求項1及び2記載の薄膜の形成方法は、加熱したSi基板上に、クリプトン（以下、Krと記す）ガスまたはキセノン（以下、Xeと記す）ガスを使用したスパッタ法を用いてFeを堆積、またはFeとSiを同時に、またはFeとSiを交互に堆積させて、Si基板上に $\beta\text{-FeSi}_2$ 層を形成するものである。

【0019】これにより、KrガスやXeガスは、通常スパッタ法で用いられるアルゴン（以下、Arと記す）ガスに比して質量が大きく、スパッタ法によるFe堆積時に、Si基板がこれらのプラズマガスに暴露されるので、Si基板表面のSi-Si結合の解離が効率的に進み、堆積されるFeとSi基板のSiとの反応が促進され、高品質な $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層が形成できる。

【0020】また、本発明の請求項3記載の薄膜の形成方法は、加熱したSi基板上に、Feを負イオンの状態で堆積させてSi基板のSiとの反応により、Si基板上に $\beta\text{-FeSi}_2$ 層を形成するものである。

【0021】これにより、負イオンは、付随エネルギーが電子親和力で通常の正イオンの電離エネルギーより小さく、その運動エネルギーを効率的にFeとSiの結合反応に運ぶため、その反応が促進され、高品質な $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル成長が形成できる。

【0022】また、本発明の請求項4、5および6記載の薄膜の形成方法は、加熱したSi基板上に、Feを堆積し、またはFeとSiを同時に堆積し、Si基板上に $\beta\text{-FeSi}_2$ 層を形成する工程において、Si基板上に水素（以下、Hと記す）または希ガス（具体的にはネオン（以下、Neと記す）、Ar、Kr、Xe等）のラジカルイオンを、Feの堆積と同時、またはFeとSiの堆積と同時にあるいは交互に照射する工程を含むものである。

【0023】これにより、Si基板がHまたはNe、Ar、Kr、Xe等の希ガスのラジカルイオンに暴露され

ることにより、Si基板表面のSi-Si結合の解離が効率良く進み、そのイオンエネルギーを与えることにより、堆積されるFeとSiとの結合反応が促進され、高品質な $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層が形成できる。

【0024】また、請求項7記載の本発明は、請求項4または5に記載の形成方法において、鉄を負イオンの状態で堆積するものである。

【0025】これにより、負イオンは、付随エネルギーが電子親和力で通常の正イオンの電離エネルギーより小さく、その運動エネルギーを効率良くFeとSiの結合反応に運ぶため、その反応が促進される。

【0026】また、請求項8記載の本発明は、請求項1ないし5のいずれかに記載の形成方法において、シリコン基板を400～700℃の範囲で加熱するものである。

【0027】これにより、結晶化が最適に進行する。

【0028】また、本発明の請求項9、10および11記載の薄膜の形成方法は、Si基板表面にFe、Siまたは希ガス（具体的には、Ne、Ar、Kr、Xe等）をイオン注入した後、Si基板を加熱しながらFeを堆積してSi基板のSiとの反応により $\beta\text{-FeSi}_2$ 層を形成するものである。

【0029】これにより、Si基板に予めFe、Si、またはNe、Ar、Kr、Xe等の希ガスをイオン注入することにより、これらの注入原子はSi基板のSi原子と衝突してそのエネルギーを失い、格子間の位置で止まる。したがって、Si基板表面のSi-Si結合が解離し、その後堆積されるFeとSi基板のSiとの反応が促進され、高品質な $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層が形成できる。

【0030】また、請求項12及び13記載の薄膜の形成方法は、Si基板表面にn型となるドーピング不純物（具体的にはコバルト、ニッケル、白金、パラジウム）またはp型となるドーピング不純物（具体的には、マンガ、クロム、モリブデン）をイオン注入後、Si基板を加熱しながらFeを堆積して、Si基板のSiとの反応によりn型またはp型の $\beta\text{-FeSi}_2$ 層を形成するものである。

【0031】これにより、前記請求項9～11記載の発明と同様に、注入された不純物は、Si基板の表面のSi-Si結合を解離させ、その後Si基板に堆積されるFeとSi基板のSiとの反応が促進されるとともに、形成される $\beta\text{-FeSi}_2$ 層に不純物が取りこまれてFeと置換し、制御性良くn型またはp型にドーピングすることができる。

【0032】また、請求項14に記載の発明は、上記請求項9、10または12に記載の形成方法において、イオン注入のドーズ量が $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ から $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ の範囲であるものである。

【0033】これにより、イオン注入によるダメージを減らすことができる。

【0034】また、請求項15に記載の発明は、請求項9、10または12に記載の形成方法において、イオン注入の深さ方向の範囲がSi基板表面から堆積するFeの膜厚の約3.2倍以内の範囲にするものである。

【0035】これにより、イオン注入される深さ方向の範囲が $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層が形成される領域であるので、さらに高品質な $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層が形成できる。

【0036】また、請求項16に記載の発明は、請求項9、10または12に記載の形成方法において、鉄を負イオンの状態で堆積させるものである。

【0037】これにより、負イオンは付随エネルギーが電子親和力で通常の正イオンの電離エネルギーより小さく、その運動エネルギーを効率良くFeとSiの結合反応に運ぶためその反応が促進される。

【0038】また、請求項17に記載の発明は、請求項9、10または12に記載の形成方法において、KrガスまたはXeガスを使用したスパッタ法を用いてFeを堆積させたものである。

【0039】これにより、Si基板表面のSi-Si結合の解離が効率良く進み、堆積されるFeとSi基板のSiの反応が促進される。

【0040】また、本発明の請求項18記載の薄膜の形成方法は、第1のSi基板の表面にFeを堆積した後、第1のSi基板の表面側に第2のSi基板を重ね合わせて熱処理し、 $\beta\text{-FeSi}_2$ 層を両Si基板の間に埋め込み形成するものである。

【0041】これにより、Feを堆積した第1のSi基板を第2のSi基板と重ねて熱処理することで、Feは両側のSi基板と固相反応を生じ、 $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層が両側のSi層に埋め込まれる形で、2つのSi基板がボンディングされ、Si/ $\beta\text{-FeSi}_2$ /Siのダブルヘテロ構造を容易に形成することができる。

【0042】また、請求項19に記載の発明は、請求項18に記載の形成方法において、第1のシリコン基板と第2のシリコン基板の少なくとも一方のシリコン基板を親水処理して重ね合わせるものである。

【0043】これにより、第1と第2のSi基板の密着性がよくなる。

【0044】また、請求項20に記載の発明は、請求項18に記載の形成方法において、重ね合わせた第1のシリコン基板と第2のシリコン基板を、水素ガス、窒素ガスまたはアルゴンガスを含む雰囲気中で熱処理するものである。

【0045】これにより、Feが雰囲気ガスに反応することなく両方のSi基板に拡散して固相反応が促進される。

【0046】また、請求項21および22に記載の発明は、請求項18に記載の形成方法において、第1のシリコン基板と第2のシリコン基板の少なくともいずれか一方の基板表面に、鉄を堆積する前に、予めFeまたはSiあるいはNe、Ar、KrまたはXeの希ガスをイオン注入するものである。

【0047】これにより、Si基板がこれらのイオンに暴露されることにより、Si基板表面のSi-Si結合の解離が効率良く進み、そのイオンエネルギーを与えることにより、堆積されるFeとSi基板のSiとの結合反応が促進される。

【0048】また、請求項23および24に記載の発明は、請求項18に記載の形成方法において、少なくとも第1のシリコン基板表面に、鉄を堆積する前に、予めn型となるドーピング不純物（具体的には、コバルト、ニッケル、白金、パラジウム）またはp型となるドーピング不純物（具体的には、マンガン、クロム、モリブデン）をイオン注入するものである。

【0049】これにより、注入された不純物はSi基板に堆積されるFeとSi基板のSiとの反応により形成される $\beta\text{-FeSi}_2$ 層に取りこまれてFeと置換し、制御性良くn型またはp型にドーピングすることができる。

【0050】また、請求項25に記載の発明は、請求項21ないし24のいずれかに記載の形成方法において、イオン注入のドーズ量が $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ から $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ の範囲であるものである。

【0051】これにより、イオン注入されるダメージを減らすことができる。

【0052】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について、図面を参照して説明する。

【0053】（実施の形態1）図1は、本発明の第1の実施形態における薄膜の形成方法を示す装置の概略図と基板の断面図である。

【0054】図1(a)に示すように、まず、(100)面のn型のSi基板1を、アンモニア過酸化水素水と塩酸過酸化水素水とを交互に使用する洗浄（以下、RCA(Radio Corporation of America)洗浄と記す）後、希フッ酸で水素終端処理を施し、マグネトロンスパッタ装置の真空チャンバー2内に配置された基板ホルダー3に設置する。

【0055】なお、真空チャンバー2には、Si基板1を加熱するためのヒーター4と、真空排気するためのポンプにつながっている排気口5と、カソード6、7が設けられ、カソード6の上にはFeターゲット8、カソード7の上にはSiターゲット9がそれぞれ設けられている。また、カソード6、7には電力を供給するためにそれぞれ13.56MHzのRF電源10、11が、マッチングボックス12、13を介して設けられている。さ

らに、真空チャンバー2にはスパッタガスを供給するためのガス供給口14が設けられ、マスフローコントローラー15で流量制御されたXeガス16がガス供給口から真空チャンバー2内に送り込まれる。

【0056】次に上記装置を用いて、ヒーター4により基板温度を550～650℃、マスフローコントローラー15と排気によりスパッタ圧力を5mmTorr、Feターゲットに印加するRF電源10のRFパワーを200W、マスフローコントローラー15を用いてXe流量を25SCCMに設定し、図1(b)に示すように、n型のSi基板1上にFeを約3nm/分のデポレートで30nmのn膜厚に堆積させると、基板加熱により、Si基板1のSiとFeとが反応し、Si基板1上に、 β -FeSi₂層17を約100nmの厚さに形成することができる。

【0057】図2は、こうして本発明のXeガスを用いた方法によって形成された β -FeSi₂層17と、従来のArガスを用いた方法によって形成された β -FeSi₂層のX線回折の結果を示したものである。

【0058】なお、Arガスの場合、FeのデポレートはXeガスの場合とほぼ同じになるように調節した。

【0059】図2に示すように、Xeガスを用いた本発明の形成方法によるサンプルは β -FeSi₂の(400)、(600)、(800)面の単結晶相のピークが見られ、高品質なエピタキシャル膜が形成されていることがわかるが、Arガスを用いた従来の形成方法によるサンプルは(202)や(422)面のピークが見られ、単結晶性が劣化していることがわかる。

【0060】また、従来のArガスを用いた方法では、 β -FeSi₂層の厚さが50～100nmを越えると多結晶になるが、本発明のXeガスを用いた方法では、 β -FeSi₂層の厚さが200nmを越えても単結晶性が維持された。

【0061】(実施の形態2)第1の実施形態では、Feのみをスパッタ法で堆積したが、図3に示すように、本発明の第2の実施形態の薄膜の形成方法では、FeとSiの両方をスパッタ法により(100)面のn型のSi基板1に同時に堆積して β -FeSi₂層17を形成するものである。第2の実施の形態の薄膜の形成方法に用いる装置、及びSi基板の配置は、図1(a)に示したものと同一なので図1(a)を参照して説明する。

【0062】図1の装置を用いて、基板温度を550～650℃、スパッタ圧力を5mmTorr、Feターゲット8のRFパワーを200W、Siターゲット9のRFパワーを150W、Xe流量を25SCCMに設定し、図3に示すようにSi基板1上に、Fe及びSiをそれぞれ約3nm/分と約10nm/分のデポレートで堆積させ、Si基板1上に β -FeSi₂層17を約100nmの厚さに形成する。この場合も、図2に示したものと同様な高品質なエピタキシャル層を示すX線回折

が得られた。

【0063】第1と第2の実施の形態で示したように高品質なエピタキシャル層が形成される理由は、Xeガスが、Arに比して大きな質量を有しており、Si原子との衝突に際し、Si原子へのエネルギーの寄与率がArに比して小さく、また原子半径が大きいことからより多くのSi原子と衝突する確率が大きく、成長表面層の多数のSi原子に低ダメージでエネルギーを与えるのでSi基板表面のSi-Si結合の解離が効率良く進み、堆積されるFeとSi基板のSiとの反応が促進されるからである。また、程度は少ないが、同様の状況がFe原子との衝突についても成り立つからである。

【0064】上記では、FeとSiの同時堆積について説明したが、FeとSiを交互に堆積しても同様の効果が得られる。

【0065】また、第1及び第2の実施形態の説明では、Xeガスについて説明したが、Krガスについても同様の効果がある。また、(100)面のn型のSi基板について述べたが、(100)面のp型のSi基板や、(111)面のn型またはp型のSi基板についても同様の効果がある。また、RFマグネトロンスパッタ法について説明したが、DCスパッタ、2極スパッタ等の他のスパッタ法についても同様の結果が得られる。

【0066】(実施の形態3)図4は、本発明の第3の実施形態による薄膜の形成方法を示す装置の概略図と基板の断面図である。

【0067】図4(a)に示すように、まず、(100)面のn型のSi基板1を、RCA洗浄後、希フッ酸で水素終端処理を施し、イオンビーム蒸着装置の真空チャンバー18内に配置された基板ホルダー19に設置する。なお、真空チャンバー18にはSi基板1を加熱するためのヒーター20と、真空排気するためのポンプにつながっている排気口21と、Feの負イオンを発生するためのRFプラズマスパッタ型負重イオン源22が設けられている。また、RFプラズマスパッタ型負重イオン源22にはRF電源23とマッチングボックス24が接続されている。

【0068】図5は、RFプラズマスパッタ型負重イオン源22の構造図を示したものである。このRFプラズマスパッタ型負重イオン源22は、中性のセシウム(以下、Csと記す)蒸気25を供給することにより表面にCsが付着したFeターゲット26をXeガス27のプラズマ放電でたたくことにより、Feの負イオンを形成させるものである。また、イオンのエネルギーは引出電極28で調節することができる。なお、29は高周波コイル、30は磁石である。

【0069】次に上記装置を用いて、RFプラズマスパッタ型負重イオン源22に10⁻⁴Torr台の低圧力のXeガス27を供給し、13.56MHzのRFパワーを約300W印加して、Feの負イオンを生成し、図4

10

20

30

40

50

(b)に示すようにFeの負イオンを約3nm/分のデポレートで、550~650℃に加熱したSi基板1に照射させ、Si基板1上に β -FeSi₂層17を約100nmの厚さに形成する。この場合も、図2に示したものと同様な高品質なエピタキシャル層を示すX線回折が得られた。

【0070】これは、負イオンが、付随エネルギーが電子親和力(通常は~1eV程度)で、通常の正イオンの電離エネルギー(通常は~10eV)より小さく、その運動エネルギーを効率良くFeとSiの結合反応に運ぶため、その反応が促進され、高品質な β -FeSi₂のエピタキシャル成長が可能となるからである。この場合、Feの負イオンのエネルギーとしては、数eV程度(2~8eV)が望ましい。Feの負イオンのエネルギーが10eVを越えてあまり高くなるとダメージが発生し、膜質が劣化する。

【0071】(実施の形態4)図6は、本発明の第4の実施形態による薄膜の形成方法を示す装置の概略図と基板の断面図である。

【0072】図6(a)に示すように、(100)面のn型のSi基板1を、RCA洗浄後、希フッ酸での水素終端処理を施し、高真空電子ビーム蒸着装置の真空チャンバー31内に配置された基板ホルダー32に設置する。

【0073】なお、真空チャンバー31にはSi基板1を加熱するためのヒーター33と、真空排気するためのポンプにつながっている排気口34と、Feの電子ビーム蒸着のためのFeのEガン35と、Siの電子ビーム蒸着のためのSiのEガン36およびガスソース用のRFラジカルイオン源37が設けられている。なお、38はRF電源、39はマッチングボックス、40はマスフローコントローラー、41はH₂ガスである。

【0074】次に、上記装置を用いて、基板温度を550~650℃に設定し、RFラジカルイオン源37にH₂ガス41を2SCCM供給し、RF電源38より150WのRFパワーを印加して、図6(b)に示すようにHのラジカルイオン42をSi基板1に照射しながら、電子ビームによりFeを約1nm/分のデポレートで30nmの膜厚に堆積させ、Si基板1上に β -FeSi₂層17を約100nmの厚さに形成する。この場合も、図2に示したものと同様な高品質なエピタキシャル層を示すX線回折が得られた。

【0075】これは、Hラジカルイオン42がSi基板1に照射されると、Si原子と反応してSiH₄を形成するため、Si基板1の表面のSi-Si結合の解離が効率良く進み、又そのイオンエネルギーを与えることにより、堆積されるFeとSiとの結合反応が促進されるからである。これによって、高品質な β -FeSi₂のエピタキシャル層が形成できる。なお、上記の説明ではHのラジカルイオンの照射とFeの堆積とを同時に行

ていたが交互に行ってもよい。

【0076】(実施の形態5)本発明の第4の実施形態では、Feのみを電子ビーム蒸着で堆積したが、本発明の第5の実施形態では、FeとSiを同時に堆積して β -FeSi₂層を形成する場合について説明する。装置、及びSi基板の配置は図6(a)に示したものと同一なので図6(a)を参照して説明する。

【0077】図6(a)に示した装置を用いて、(100)面のn型のSi基板1の基板温度を550~650℃に設定し、RFラジカルイオン源37にH₂ガス41を2SCCM供給し、RF電源38により150WのRFパワーを印加して、図7に示すようにHのラジカルイオン42をSi基板1に照射しながら、電子ビームによりFe及びSiをそれぞれ約1nm/分と約3.3nm/分のデポレートで同時に堆積させ、Si基板1上に β -FeSi₂層17を約100nmの厚さに形成する。この場合も、図2に示したものと同様な高品質なエピタキシャル層を示すX線回折が得られた。

【0078】上記の説明では、FeとSiの同時堆積について説明したが、FeとSiを交互に堆積しても同様の効果が得られる。また、Hのラジカルイオンの照射とFeとSiの堆積とも同時に行っていたが、交互に行ってもよい。

【0079】第4及び第5の実施形態の説明では、RFラジカルイオン源37にH₂ガスを用いた場合について説明したが、Xe、Kr等の希ガスをを用いた場合にも、Si基板表面のSi-Si結合の解離が効率良く進み、又そのイオンエネルギーを与えることにより、堆積されるFeとSiとの結合反応が促進され、同様の効果が得られる。

【0080】また、Feは電子ビーム蒸着したが、実施の形態3に示したように負イオンの状態で堆積すると、更に高品質の β -FeSi₂層が得られる。

【0081】また、(100)面のn型のSi基板について述べたが、(100)面のp型のSi基板や、(111)面のn型またはp型のSi基板についても同様である。

【0082】また、実施の形態1から実施の形態5では、基板温度として550~650℃を用いたが、400~750℃の範囲であれば高品質な β -FeSi₂層の成膜ができる。

【0083】(実施の形態6)図8は、本発明の第6の実施形態による薄膜の形成方法を示す基板の工程断面図である。

【0084】まず、図8(a)に示すように、(100)面のn型のSi基板1を、RCA洗浄後、イオン注入機を用いて、Si基板1の表面にFe¹⁶⁺イオンを加速電圧が100keV、ドーズ量が $3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ の条件下で注入してFe注入層43を形成する。

【0085】次に、図8(b)に示すように、Feが注

入されたSi基板1を再びRCA洗浄後、希フッ酸での水素終端処理を施し、その後、Arガスをを用いた通常のマグネトロンスパッタ装置を用いて、第1の実施の形態で示したのと同じような条件、即ち、基板温度を550~650℃、スパッタ圧力を5mmTorr、FeターゲットのRFパワーを200W、Ar流量を25SCCMに設定してSi基板1上に、Feを約3nm/分のデポレートで30nmの厚さに堆積させ、 β -FeSi₂層17を約100nmの厚さに形成する。この場合も、図2に示したものと同様な高品質なエピタキシャル層を示すX線回折が得られた。

【0086】これは、Si基板に予めFeをイオン注入することにより、注入されたFe原子はSi基板のSi原子と衝突してそのエネルギーを失い、格子間の位置で止まり、これにより、Si基板表面のSi-Si結合が解離し、加熱したSi基板上に堆積されるFeとSiとの反応が促進され、また注入されたFeもSiとの反応に寄与するためである。これによって、高品質な β -FeSi₂のエピタキシャル層が形成できる。

【0087】上記の説明では、Feをイオン注入した場合について説明したが、同じ β -FeSi₂の構成元素であるSiをイオン注入しても同様の効果が得られる。

【0088】(実施の形態7)図9は、本発明の第7の実施形態による薄膜の形成方法を示す基板の工程断面図である。

【0089】まず、図9(a)に示すように、(100)面のn型のSi基板1を、RCA洗浄後、イオン注入機を用いて、Si基板1の表面にAr⁴⁰イオンを加速電圧が45keV、ドーズ量が $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ の条件で注入してAr注入層44を形成する。

【0090】次に、図9(b)に示すように、Arが注入されたSi基板1を再びRCA洗浄後、希フッ酸での水素終端処理を施した後、Arガスをを用いた通常のマグネトロンスパッタ装置を用いて、第1の実施の形態で示したのと同じような条件、即ち、基板温度を550~650℃、スパッタ圧力を5mmTorr、FeターゲットのRFパワーを200W、Ar流量を25SCCMに設定してSi基板1上に、Feを約3nm/分のデポレートで30nmの厚さに堆積させ、 β -FeSi₂層17を約100nmの膜厚に形成する。この場合も、図2に示したものと同様な高品質なエピタキシャル層を示すX線回折が得られた。

【0091】これは、Si基板に予めArをイオン注入することにより、注入されたAr原子はSi基板のSi原子と衝突してそのエネルギーを失い、格子間の位置で止まり、これにより、Si基板表面のSi-Si結合が解離し、加熱したSi基板上に堆積されるFeとSiとの反応が促進されるからである。これによって、高品質な β -FeSi₂のエピタキシャル層を形成することができる。

【0092】このとき、注入されたAr原子はSi基板内に残るが、中性不純物であるので何の影響も与えない。

【0093】上記の説明では、Arを注入した場合について説明したが、同じ希ガス原子のNe、Kr、Xeを注入しても同様の効果が得られる。

【0094】また、実施の形態6及び実施の形態7においては、FeイオンあるいはArイオンの注入のドーズ量が多いとSi基板中にダメージが残るため、ドーズ量は $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ から $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ の範囲が好ましく、またイオン注入の深さの範囲は β -FeSi₂のエピタキシャル層が形成される領域(Si基板表面から堆積するFeの膜厚の約3.2倍以内)に限定されるのが好ましい。

【0095】(実施の形態8)図10は、本発明の第8の実施形態による薄膜の形成方法を示す基板の工程断面図である。

【0096】まず、図10(a)に示すように、(100)面のn型のSi基板1を、RCA洗浄後、イオン注入機を用いて、Si基板1の表面にコバルト(以下、Coと記す)イオンを加速電圧が100keV、ドーズ量が $3 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ の条件で注入してCo注入層45を形成する。

【0097】次に、図10(b)に示すように、Coが注入されたSi基板1を再びRCA洗浄後、希フッ酸での水素終端処理を施し、Arガスをを用いた通常のマグネトロンスパッタ装置を用いて、第1の実施の形態で示したのと同じような条件、即ち、基板温度を550~650℃、スパッタ圧力を5mmTorr、FeターゲットのRFパワーを200W、Ar流量を25SCCMに設定してSi基板1上に、Feを約3nm/分のデポレートで30nmの厚さに堆積させ、Coをドーピングしたn型の β -FeSi₂層46を約100nmの厚さに形成する。この場合も、図2に示したものと同様な高品質なエピタキシャル層を示すX線回折が得られた。

【0098】これは、Si基板に予めn型となる不純物のCoをイオン注入することにより、注入されたCo原子はSi基板のSi原子と衝突してそのエネルギーを失い、格子間の位置で止まり、これにより、Si基板表面のSi-Si結合が解離し、加熱したSi基板上に堆積されるFeとSiとの反応が促進され、また注入されたCoはFeと置換するからである。これによって、Coドーピングの高品質なn型の β -FeSi₂のエピタキシャル層を形成することができる。

【0099】なお、通常 β -FeSi₂層はp型であるが、Coをドーピングすることによりn型の β -FeSi₂層が得られる。

【0100】また、ドーピング量は、イオン注入のドーズ量により、制御性良く変化させることができる。

【0101】上記の説明では、Coをイオン注入した場

合について説明したが、n型の不純物として、ニッケル (Ni)、白金 (Pt)、パラジウム (Pd)、またp型の不純物としてマンガン (Mn)、クロム (Cr)、モリブデン (Mo) 等を用いても同様の効果が得られる。

【0102】また、実施の形態6及び実施の形態7と同様に、イオン注入のドーズ量が多いとSi基板中にダメージが残るため、ドーズ量は $5 \times 10^{11} \text{ cm}^{-2}$ から $1 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ の範囲が好ましく、またイオン注入の深さ方向の範囲は $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層が形成される領域 (Si基板表面から堆積するFeの膜厚の約3.2倍以内) に限定されるのが好ましい。

【0103】また、第6、第7及び第8の実施形態の説明では、Arガスを用いた通常のマグネトロンスパッタ法を用いてFeを堆積する方法について説明したが、DCスパッタ、2極スパッタ、イオンビームスパッタ等の他のスパッタ方法、電子ビーム蒸着方法、第1の実施の形態で示したXeガス、Krガスを用いるスパッタ方法、及び第3の実施の形態で示したFeを負イオンの状態で堆積する方法でも前述した同様の効果が得られる。

【0104】また、(100)面のn型のSi基板について述べたが、(100)面のp型のSi基板や、(111)面のn型またはp型のSi基板についても同様の効果が得られる。

【0105】(実施の形態9) 図11は、本発明の第9の実施形態による薄膜の形成方法を示す基板の工程断面図である。

【0106】まず、図11(a)に示すように、(100)面のn型のSi基板1は、RCA洗浄後、希フッ酸での水素終端処理を施し、Arガスを用いた通常のマグネトロンスパッタ装置を用いて、基板温度を常温、スパッタ圧力を5mm Torr、FeターゲットのRFパワーを200W、Ar流量を25SCCMに設定しSi基板1上に、Feを約3nm/分のデポレートで60nmの厚さに堆積させ、Fe層47を形成する。なお、基板温度はFeとSiの反応が生じない250℃以下が適当である。

【0107】次に、図11(b)に示すように、(100)面のp型のSi基板48を、 $\text{H}_2\text{O}_2\text{-H}_2\text{SO}_4$ 溶液等に浸透させて親水処理を施した後、n型のSi基板1上のFe層47を間に挟むように重ねて張り合わせて密着させる。

【0108】次に、図11(c)に示すように、電気炉を用いて、700℃の温度で1時間 H_2 ガス雰囲気中で熱処理を施す。この熱処理により、Fe原子が雰囲気ガスに反応することなく両方のSi基板に拡散して固相反応が生じ、 $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層17が両側のSi層に埋め込まれる形で形成され、2つの基板がボンディングされる。

【0109】このあと、図11(d)に示すようにp型

のSi基板48を研磨して、所望の厚さにする。これにより、半導体装置を形成することができるp-Si/ $\beta\text{-FeSi}_2$ /n-Siのダブルヘテロ構造を形成することができる。

【0110】上記の説明では、熱処理で H_2 ガス雰囲気を用いた場合について説明したが、窒素 (N_2) ガスやArガスを用いても同様の効果が得られる。また、Si基板の親水処理については、n型のSi基板1でも良く、少なくともどちらか一方について行えばよい。

【0111】また、Arガスを用いた通常のマグネトロンスパッタ法を用いてFeを堆積する方法について説明したが、DCスパッタ、2極スパッタ、イオンビームスパッタ等の他のスパッタ方法や電子ビーム蒸着法、第1の実施の形態で示したXeガス、Krガスを用いるスパッタ法を用いても同様の効果が得られる。

【0112】また、第6から第8の実施の形態で示したように、(100)面のn型のSi基板1または(100)面のp型のSi基板48に、Feを堆積する前に予めFe、Si、またはNe、Ar、Kr、Xe等の希ガス、あるいはn型不純物となるCo、Ni、Pd、またはp型不純物となるMn、Cr、Mo等をイオン注入しても前述した同様の効果がある。

【0113】

【発明の効果】本発明は、加熱したSi基板上にFeを堆積するのに、KrガスまたはXeガスを使用したスパッタ法を用いることにより、また負イオンの状態にしてFeを堆積することにより、またH、Ne、Ar、Kr、Xe等の希ガスのラジカルイオンをSi基板上に照射しながらFeを堆積することにより、また予めSi基板にFe、Si、またはNe、Ar、Kr、Xe等の希ガスをイオン注入しておいてからFeを堆積することにより、Si基板表面のSi-Si結合の解離が効率的に進み、堆積されるFeとSiとの反応が促進され、高品質の $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層が形成されるといふすぐれた効果を有する薄膜の形成方法を提供することができるものである。

【0114】また、n型の不純物となるCo、Ni、Pt、Pd、またp型の不純物となるMn、Cr、Mo等を予めイオン注入したSi基板を加熱して、Feを堆積することにより、これらの注入不純物がFe原子と置換し、制御性良くn型またはp型にドーピングした高品質な $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層を形成することができる効果も有する。

【0115】さらには、Feを堆積したSi基板を他のSi基板と重ねて熱処理することにより、Feは両側のSi基板と固相反応を生じ、 $\beta\text{-FeSi}_2$ のエピタキシャル層が両側のSi層に埋め込まれる形で、2つの基板がボンディングされ、Si/ $\beta\text{-FeSi}_2$ /Siのダブルヘテロ構造を形成することができるという効果も有する。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1の実施形態における β -FeSi₂膜の形成方法を示す装置の概略図と基板の断面図

【図2】本発明の形成方法により形成された β -FeSi₂膜のX線回折図

【図3】本発明の第2の実施形態における β -FeSi₂膜の形成方法を示す基板の断面図

【図4】本発明の第3の実施形態における β -FeSi₂膜の形成方法を示す装置の概略図と基板の断面図

【図5】図4に示したRFプラズマスパッタ型負重イオン源の構造断面図

【図6】本発明の第4の実施形態における β -FeSi₂膜の形成方法を示す装置の概略図と基板の断面図

【図7】本発明の第5の実施形態における β -FeSi₂膜の形成方法を示す基板の断面図

【図8】本発明の第6の実施形態における β -FeSi₂膜の形成方法を示す基板の断面図

【図9】本発明の第7の実施形態における β -FeSi₂膜の形成方法を示す基板の断面図

【図10】本発明の第8の実施形態における β -FeSi₂膜の形成方法を示す基板の断面図

【図11】本発明の第9の実施形態における β -FeSi₂膜の形成方法を示す基板の断面図

【符号の説明】

- 1 Si基板
2、18、31 真空チャンバー
3、19、32 基板ホルダー
4、20、33 ヒーター

* 5、21、34 排気口

6、7 カソード

8、26 Feターゲット

9 Siターゲット

10、11、23、38 RF電源

12、13、24、39 マッチングボックス

14 ガス供給口

15、40 マスフローコントローラー

16 Xeガス

17 β -FeSi₂層

22 RFプラズマスパッタ型負重イオン源

25 Cs蒸気

27 Xeガス

28 引出電極

29 高周波コイル

30 磁石

35 FeのEガン

36 SiのEガン

37 RFラジカルイオン源

41 H₂ガス

42 Hラジカルイオン

43 Fe注入層

44 Ar注入層

45 Co注入層

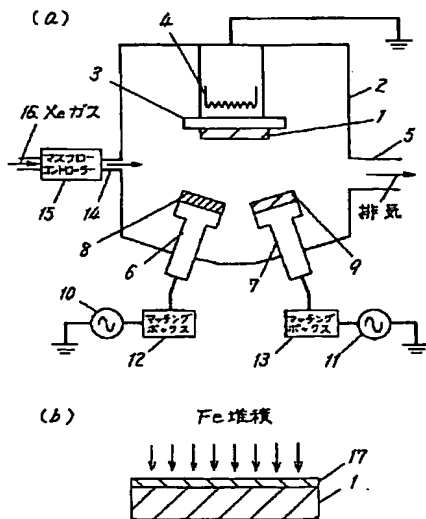
46 n型の β -FeSi₂層

47 Fe層

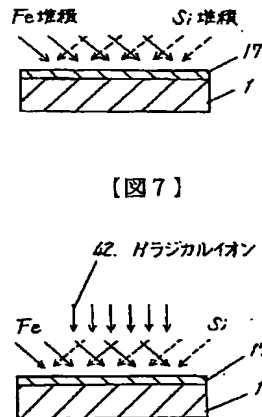
48 p型のSi基板

*

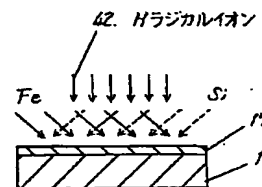
【図1】



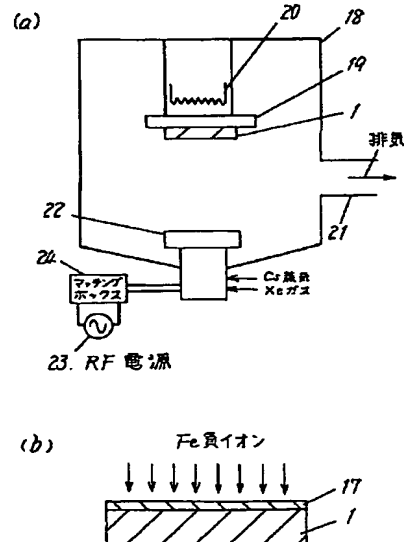
【図3】



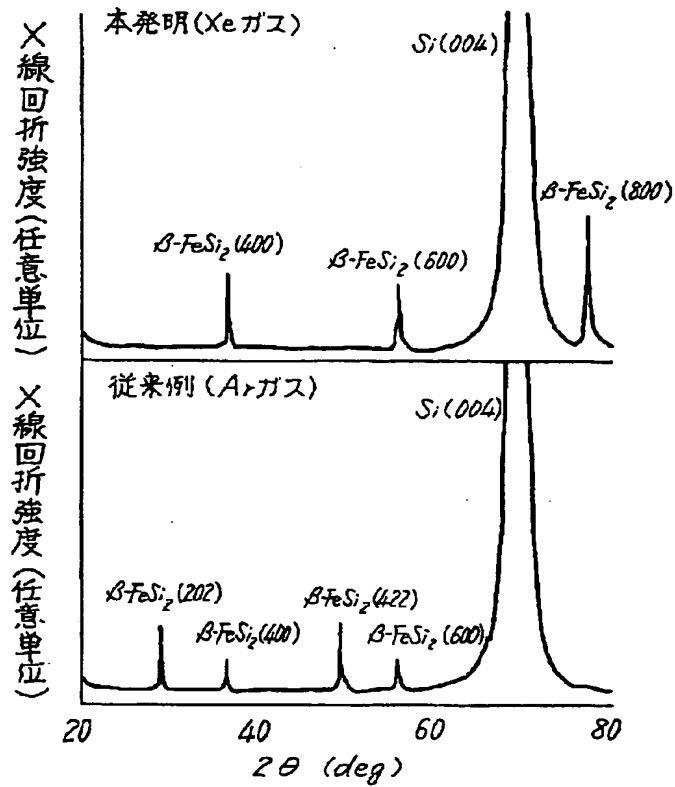
【図7】



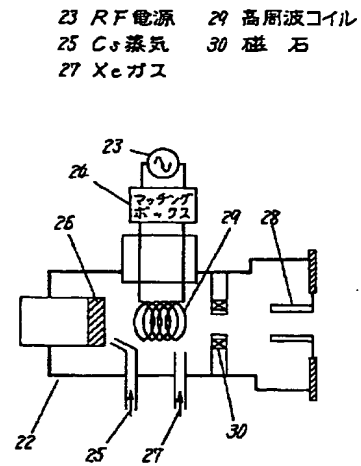
【図4】



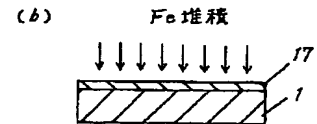
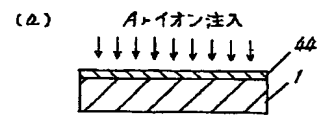
【図2】



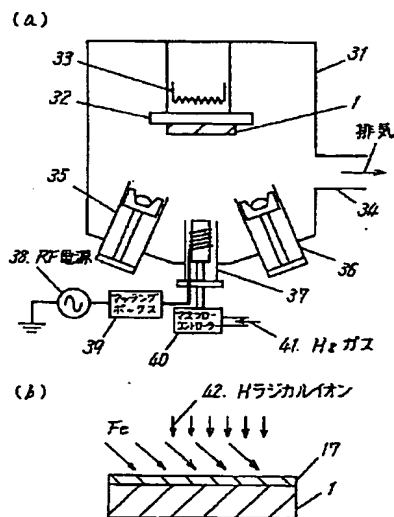
【図5】



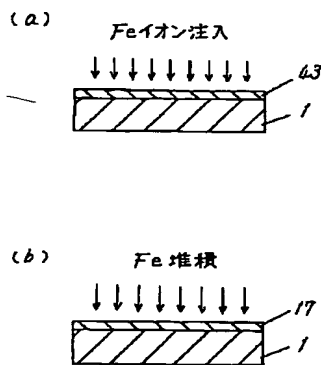
【図9】



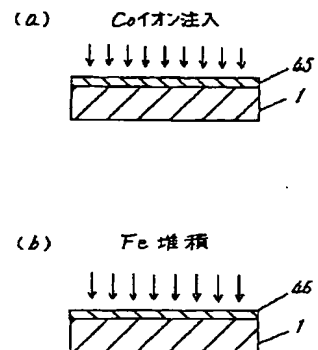
【図6】



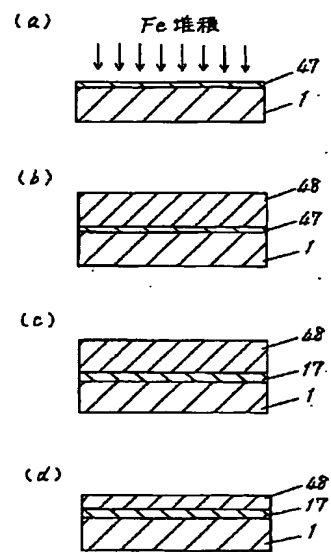
【図8】



【図10】



【図11】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

☒ **BLACK BORDERS**

☒ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**

☒ **FADED TEXT OR DRAWING**

☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**

☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**

☒ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**

☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**

☐ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**

☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**

☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.